

## 如何焕新升级为 48V 电气架构

即使不考虑从燃油车向电动车的转型，今天的汽车上的车载设备的功率已经大到令人生畏的地步。每一个车载设备 - 从空调，座椅加热器到车灯和车载娱乐系统都需要功率，并且用于提供这些功率的导线的直径必须足够大来支持大电流的传输。

设备繁多，电线错综复杂，给封装和布线带来了巨大的挑战。随着 OEM 专注于提高汽车燃油经济性和电动汽车续航里程，对这类电线重量和成本的要求也越来越严格。

从 12V 的电气架构转变为 48V 的架构是一种从整体上减小线径、减轻重量并降低成本的方法。但是，如果 OEM 升级为 48V 电气架构，那么他们需要额外注意几个关键设计考量，以确保系统安全可靠。

### 12V 架构的起源

这次转变并非汽车电气架构的第一个拐点。70 年前，汽车行业也曾面临类似的挑战，只是规模略小。20 世纪 50 年代之前，大多数汽车使用的是 6V 电池和电气系统。随着电气元件的增加以及铜价的上涨，一场变革悄然发生，全球范围内的汽车在十年间转变为采用 12V 电源供电。

由于电功率遵循公式  $P=V \times I$ （功率等于电压乘以电流），因此将电压加倍意味着设备可以用一半的电流获得相同的功率。电流大小决定了要采用哪种直径的电线：因为越粗的电线电阻越小，所以在需要安全地承载较高的电流时，必须使用较粗的电线。反之亦然：较低的电流可以安全地通过较细的导线，所以电流降低时可以使用规模更小的导线、端子和连接器，而这些因素都能减轻重量并降低成本。

因此，要解决不断增加的元件、包装、重量和成本问题，提高电压是重要手段。自 20 世纪 50 年代以来，流经 12V 系统的平均电流量增加了 650% 以上。很显然，是时候进行下一次架构改革了。

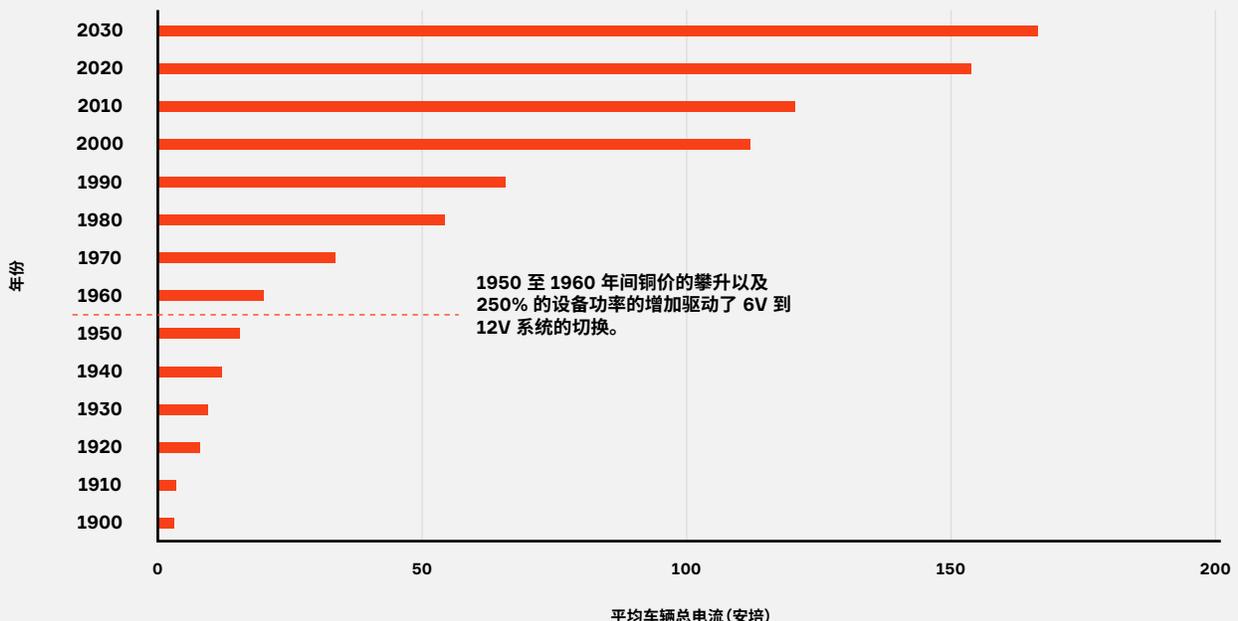
### 为什么是 48V?

如今，12V 已面临过多限制，许多汽车 OEM 都将 48V 视作最为合理的发展目标，因为这一电压能够达成一种理想的平衡：电压提高至之前的四倍意味着电流降低 75%，同时，48V 远低于 60V 这一防范电击危险所要求的公认限值。通过采用 48V 的设计，可以在过压情况下提供抵抗 60V 的过电压保护。

除了实现更小的端子和更少的布线之外，更高的电压还意味着更节能。欧姆定律指出， $P=I^2R$ （功率等于电流的平方乘以电阻），因此在 48V 架构中，由于电流是 12V 架构的四分之一，理论上电力传输系统中电阻导致的各种功率损耗都可以降低到原来的十六分之一。当然，随着电线尺寸的减小，电阻将会增大，因而实际损耗将取决于系统的优化情况。尽管如此，随着电流的降低，驱动负载时电线上的电压降也会相应减少。

此外，随着工作电压的提高，发动机等设备也将从中受益。这类设备所需的铜将会减少，并能提供更大的扭矩，同时还能实现更小的封装尺寸。

汽车低压架构的电流在几十年来不断增加



来源：安波福线束演变数据

### 设计注意事项

既然从 12V 过渡到 48V 具备上述优势，为何汽车行业还未完成切换？过去人们曾考虑进行切换，但 12V 背后所蕴含的行业惯性不容小觑。汽车行业已使用 12V 系统长达 70 年，转变为 48V 将需要进行新设计并重新调整大量设备。

还应注意的是，并非所有设备都会从 12V 转变为 48V，某些功耗较低的小型设备仍将保持在 12V。除此之外，随着市场转向 BEV，一些设备将改为基于电池组电压运行，通常为 400V 或 800V。

在适用 48V 的情况中，设计人员必须采取几个步骤来确保系统的安全性和可靠性。

### 密封要求

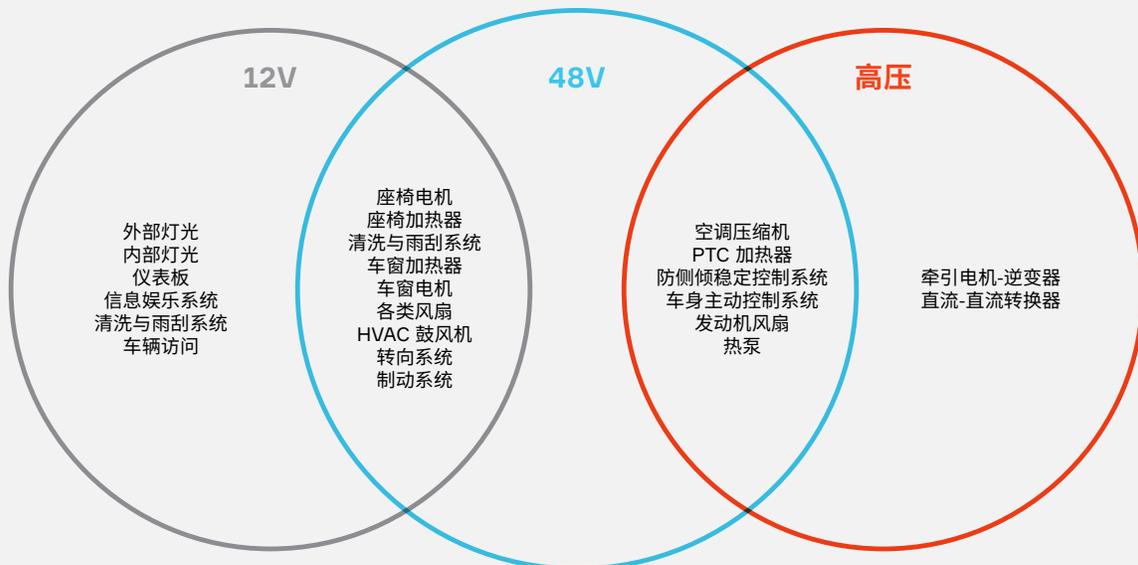
如果 48V 连接器意外接触到盐水等电解液，所产生的电化学反应对端子的侵蚀会比 12V 的情况下更强。因此，在决定连接器是否需要密封时，设计人员应充分考虑这一因素。如果需要密封，就必须使用经过验证的可靠密封技术。

### 电弧防护

电弧风险与电压水平和端子之间的间距有关。电弧的温度在 2,800 °C 至 19,000 °C 之间。当 12V 电路断开时，可能会出现小电弧，但通常会迅速自行熄灭。在 48V 电压下，电弧可能持续较长时间，对端子和连接器造成严重损坏。为防范这一情况，连接器中的端子之间应留有适当间距，并应特别注意避免高温导致的连接断开。

## 多电压架构

并非所有设备都会转换为 48V，但随着时间的推移，越来越多功耗较高的设备将从 12V 过渡到 48V 甚至高电压。



避免使用出现过间歇接触、微动腐蚀或端子退出 (TPO) 问题的端子。如果端子接触不稳定，微电弧会破坏镀层或损害端子基底金属，导致电阻增大或形成焊接连接。

利用有效的端子二次锁定，确保端子完全锁定在连接器中。TPO 可能会导致缓慢或间歇性的断电，进而形成破坏性的电弧。

在维修 48V 连接器之前，应断开 48V 电源。缓慢断开带电的连接系统可能会产生持续的电弧，造成高温导致的不良后果。

### 电压隔离

在混合电压系统中，必须采取特殊预防措施，防止电流从 48V 设备流向 12V 设备。对不同电压下运行的电路进行隔离是最佳的解决方案。

较为保守的方法是避免使用同时具有 48V 和 12V 电路的连接器。如果无法实现，则应对连接器进行分区，从而物理隔离不同电压。布置线束时，人们通常倾向于将 48V 和 12V 电路分开布置，但并非总是可行。

避免在电线绝缘层可能损坏的区域布置 48V 引线，并在必要时进行覆盖保护。电线绝缘层受损可能会导致对车辆内接地的金属产生电弧。此外，避免对不同电压的设备使用相同的接地螺栓。如果接地螺栓松动或脱落，电流可能会通过共享的连接从 48V 设备流向 12V 设备。

### 爬电距离和电气间隙注意事项

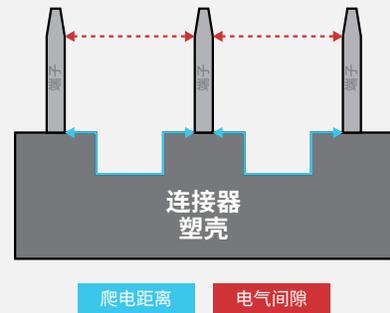
无论是对现有连接器进行资格认证还是为 48V 系统设计新连接器，都应使用 IEC 60664-1 版本 3.0 (2020-5) 规范来确定适当的爬电距离和电气间隙，以满足连接器中端子位置的要求。爬电距离是指沿绝缘材料表面的两个导电点之间的最短距离。电气间隙是“视觉直线”，即导体之间在空气中的最短距离。应用该规范时，保护 60V 的过电压范围上限至关重要。

### 爬电距离和电气间隙

尽管 48V 被视为低电压范畴，其电弧仍会造成风险。为降低风险，连接器的设计必须满足爬电距离和电气间隙要求。

**爬电距离：**沿绝缘材料表面的两个导电点之间的最短距离

**电气间隙：**导体之间在空气中“视觉直线”的距离



对密封和非密封连接器使用适当的污染等级（通常为 2 级或 3 级），并根据 IEC 60112/UL 1950 中定义的相对漏电起痕指数 (CTI) 选择正确的材料组。CTI 是该材料在经受 50 滴污染水的情况下，不会因电应力、湿度和污染形成导电路径的最大电压。大多数具有传统端子间距的汽车连接器和接头都可以满足电气间隙要求，但有些需要进行细微的设计更改才能满足爬电距离要求。

## 48V 的崛起

基于 48V 的电气架构具有诸多优势，但必须仔细遵循设计指南，以减少与较高电压相关的任何风险。

随着 48V 设备在现代混合电压车辆架构中愈发常见，一些先进的技术有助于确保此类架构能够支持这些设备。例如，线束自动化可以显著降低端子退出的风险。在 48V 固态电气中心中采用先进软件算法或许能够检测并减少电弧现象。对各种车辆类型的电源网络架构进行定义将有助于建立满足所有功能安全要求的 48V 电源及备份。通过设计印刷电路板和其他元件，我们能够在 48V 电压下实现体积更小、温度更低且成本更低的配电模块。

作为高压和低压电子电气架构解决方案的领导者，安波福身处 48V 开发的最前沿。我们正在优化适用于 48V 电压的连接器和组件，包括电气中心和区域控制器，以便有效管理 48V 连接并将其智能集成到更广泛的电气架构中。凭借广泛的产品组合与丰富的专业知识，安波福致力于在未来电动出行时代发挥关键作用的系统，确保其安全性与可靠性。

## 48V 的颜色编码

在汽车行业，橙色连接器和线束表示高压，包括任何高于 60V 的电压。该颜色编码系统清晰地标识了在未经过适当安全培训以及未穿戴个人防护装备的情况下不应触摸的组件。

尽管 48V 不被视为高电压范畴，但随着电弧等现象带来更多风险，业界纷纷呼吁对 48V 连接器进行颜色编码，其中浅蓝色呼声最高。

该建议的根源可追溯至叉车。多年来，电动叉车一直要使用不同电压的电池，因而制定了电池连接器的颜色指南，以避免用错电池。如今，用于 48V 连接的蓝色连接器标准已被许多行业采用，并且很可能用于 48V 汽车连接器和线束。



## 作者简介



**Kurt Seifert**  
连接器系统创新经理

Kurt Seifert 负责安波福连接器系统的前期技术开发工作，重点关注扁平线缆、高速数据、智能汽车架构 (Smart Vehicle Architecture™) 技术和自动化。他已在安波福工作超过 37 年，先后担任过制造开发、质量体系、端子压接技术和产品开发相关的职位。其团队致力于与客户开展合作，为可持续发展的未来开发和引入新技术。

详情请见 [APTIV.COM/EN/SOLUTIONS/CONNECTION-SYSTEMS](https://www.ap티브.com/en/solutions/connection-systems) →